

Таким образом, использовать приближенную формулу (16) целесообразно в случае небольших значений коэффициента контактного трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов, В. Д. Опережение при прокатке профилей переменного сечения / В. Д. Данилов // Известия вузов. Черная металлургия. – 1974. – № 1. – С. 82–86.
2. Теория продольной прокатки / А. И. Целиков [и др.]. – М.: Металлургия, 1980. – 319 с.
3. Данилов, В. Д. Критический угол при продольной прокатке профилей переменного сечения в приводных валках равного диаметра / В. Д. Данилов // Известия вузов. Черная металлургия. – 1974. – № 8. – С. 43–46.

УДК 620. 4539.37

И. В. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, В. Н. ШАРИЙ (БНТУ)

РЕГИСТРАЦИЯ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА УДАРНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ СТЕРЖНЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПЛАКИРОВАНИЕМ ТОРЦА

Технология ударного выдавливания стержневых изделий с плакированием торца является новой и заключается в получении стержневых изделий (пуансонов, выталкивателей, прошивней, фрез, электродов, долбяков и т. д.) методом выдавливания металлов в конических матрицах со сваркой основы и плакирующего слоя на конечной стадии процесса за счет пластического истечения металлов в радиальную полость матрицы [1]. Высокая эффективность технологии обусловлена значительной экономией высоколегированных инструментальных сталей (до 95 %), а также возможностью обработки малопластичных и труднодеформируемых материалов с одновременным формированием в изделиях комплекса повышенных физико-механических и эксплуатационных свойств.

При ударном выдавливании наблюдается снижение сил контактного трения, улучшение теплового баланса и, как следствие, повышение пластичности деформируемого металла. Изделия, полученные в результате обработки таким методом, имеют плотную во-

локнистую структуру, прочное сварное соединение по границе раздела материала основы и плакирующего слоя, высокое качество поверхности и точность размеров, достигающую 6–7 класса.

Однако для успешного промышленного внедрения такой технологии нужны сведения об оптимальных кинематических и энергосиловых режимах деформирования, пиковых нагрузках, действующих на инструмент на стадиях формообразования и плакирования.

К настоящему времени для измерения кинематических параметров процесса исследователями широко используются последние достижения техники высокоскоростного фотографирования. Так, в работах [2, 3] для получения зависимости $h(t)$ использовались скоростные съемочные камеры. Для этих же целей авторы работ [4–7] применяли сверхскоростные фоторегистраторы (СФР), которые обеспечивали съемку со скоростью до миллиона кадров в секунду с высокой точностью регистрации временных интервалов. Однако к недостаткам СФР следует отнести малый размер кадра, а также сложность синхронизации моментов начала деформации и съемки, учитывая, что процесс скоростного выдавливания с плакированием торца реализуется в диапазоне скоростей 60–130 м/с и является весьма кратковременным (300–900 мкс).

На основании вышеизложенного в данной работе предлагается методика регистрации кинематических и энергосиловых параметров процесса ударного выдавливания стержневых изделий с плакированием торца.

Для регистрации кинематических параметров пуансона нами были разработаны измерительные схемы дискретного и непрерывного действия.

Измерительная схема дискретного действия позволяет реализовать надежный запуск генератора развертки лучей осциллографа до момента соударения пуансона с заготовкой; регистрацию начальной скорости подлета пуансона к заготовке; запись дискретной осциллограммы $h(t)$ «путь пуансона – время». Основными элементами дискретной измерительной схемы являются оптический квантовый генератор 1, фотодиод 2, фокусирующие линзы 3, 4 и пуансон 5 (рис. 1, а). На боковой поверхности пуансона 5 выполняются кольцевой выступ А с базой L_6 и измерительная «гребенка» Б, представляющая собой сочетание периодически повторяющихся кольцевых выступов и впадин с одинаковой базой L_7 (рис. 1, а).

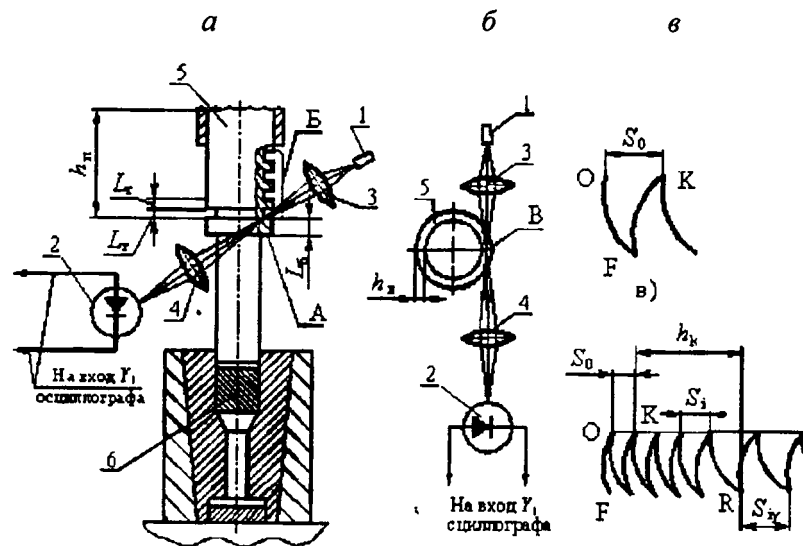


Рис. 1. Измерительная схема дискретной регистрации кинематических параметров пуансона

Луч света, направленный от квантового генератора 1 к фотодиоду 2, с помощью линз 3, 4 собирался в точку В диаметром $d = 0,3$ мм. При этом взаимное расположение осей светового потока и пуансона устанавливалось таким образом, что сфокусированная точка В находилась на середине отрезка h_n , характеризующего высоту кольцевого выступа гребенки Б (рис. 1, б). Такое положение луча приводило при перемещении пуансона 5 к попеременному затемнению или освещению фотодиода 2, что в свою очередь сопровождалось формированием на его выходе электрического сигнала (напряжения) с противоположной полярностью.

Рассмотренная измерительная схема работает следующим образом. При подлете к образцу 6 пуансон 5 кольцевым выступом А перекрывает световой поток, направленный от квантового генератора 1 в фотодиод 2. В результате этого на выходе фотодиода 2 формируется импульс напряжения, который поступает на вход Y_1 осциллографа С1-18 и запускает развертку двух лучей на его экране.

Одновременно с запуском развертки один из лучей на экране осциллографа, связанный со входом Y_1 , отклоняется вниз по кривой OF (рис. 1, в). В точке F перемещение луча вниз прекращается и он по кривой FK возвращается в исходное горизонтальное положение. Точка F на этом участке осциллограммы соответствует моменту выхода кольцевого выступа А из-под освещения световым потоком. В результате этого освещенность фотодиода 2 резко возрастает, что приводит к формированию на его выходе сигнала противоположной полярности, под действием которого и осуществляется обратное перемещение луча на экране осциллографа из точки F в точку K . Последующее пересечение светового потока, направленного в фотодиод, первым кольцевым выступом измерительной гребенки Б вновь сопровождается отклонением луча, но уже из точки K (рис. 1, в). Таким образом, перемещение пуансона 5 при подлете к заготовке 6 и в процессе ее деформирования сопровождается очередным затемнением и освещением фотодиода 2, что приводит к появлению на экране осциллографа характерной осциллограммы $h_n(t)$ «ход луча – время», состоящей из остроконечных импульсов (рис. 1, г). Расстояние по горизонтали S_0, S_i между вершинами пиков осциллограммы $h_n(t)$ позволяет определить (при известной скорости развертки луча) время прохождения пуансоном базового отрезка пути L_6 или L_r . С учетом изложенного средняя скорость v_0 подлета пуансона 5 к заготовке 6 определялась по формуле

$$v_0 = \frac{L_6 + L_r}{S_0 v_p}, \quad (1)$$

где L_6 и L_r – размеры по высоте кольцевого выступа А и первой впадины на измерительной гребенке Б (рис. 1, а); S_0 – расстояние по горизонтали между точками О и К на осциллограмме; v_p – скорость развертки луча на экране осциллографа.

Аналогичным образом при подстановке в (1) параметров L_r измерительной гребенки Б получаем скорость пуансона 5 в процессе деформирования заготовки 6. Измерительная оптическая схема настраивается таким образом, что момент перекрытия светового потока первым кольцевым выступом гребенки Б (точка К на осциллограмме) совпадает с началом пластической деформации заготовки. Такое постоянное положение точки, характеризующее начало деформации заготовки 6, позволяет на осциллограмме $h_n(t)$ по известной величине пути h_k определять момент окончания силового воздействия со стороны пуансона 5 на заготовку 6 (точка R на осциллограмме). Отсюда следует, что расстояние S_{ij} , взятое на осциллограмме за точкой R, характеризует кинематику пуансона уже на стадии отскока. Учитывая это обстоятельство, путем подстановки в формулу (1) значений S_{ij} и L_r определяется средняя скорость отскока пуансона v_y .

По известным значениям этой скорости и массы M пуансона устанавливается величина остаточной энергии пуансона на стадии отскока

$$E_y = M \frac{v_y^2}{2}. \quad (2)$$

КПД удара η_y получаем по формуле

$$\eta_y = \frac{E_n - E_y}{E_n}, \quad (3)$$

где E_n – номинальная энергия пуансона ($E_n = Mv_0^2 / 2$).

Анализ формулы (1) показывает, что точность измерения скорости с помощью дискретной схемы в основном зависит от точности определения отрезков S_0 , S_i , S_j , на осциллограмме $h_n(t)$. Для повышения точности измерения этих отрезков осциллограммы печатались на фотобумагу с десятикратным увеличением. Увеличенные фотографии обрабатывались с помощью горизонтального компаратора ИЗА-2, точность измерения которого составляет 0,001 мм. Однако при обработке данных из-за расплывчатости линий на фотографиях точность измерения отрезков S_i составляла 0,02 мм, что соответствовало в среднем погрешности 2 %.

На основе дискретной схемы была разработана еще одна измерительная схема, которая наряду с запуском развертки и определением начальной скорости подлета пуансона к заготовке обеспечивала получение непрерывной зависимости «путь пуансона – время» (рис. 2).

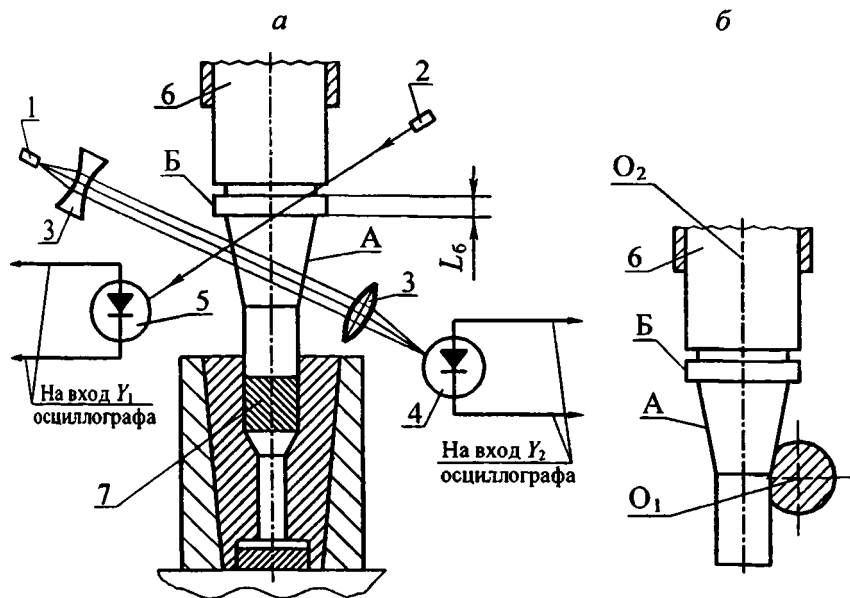


Рис. 2. Измерительная схема непрерывной регистрации кинематических параметров пуансона

В данной схеме применялись два квантовых генератора 1, 2, система линз 3, фотодиоды 4, 5, а также пуансон 6 с конической боковой поверхностью А и кольцевым выступом Б (рис. 2, а). Луч света, направленный от квантового генератора 2 в фотодиод 5, использовался в данной схеме для запуска развертки лучей на экране осциллографа и измерения начальной скорости пуансона. В то же время луч, выходящий из квантового генератора 1 с помощью телескопической системы линз 3, преобразовывался в цилиндрический световой поток диаметром 18–30 мм.

Оси цилиндрического светового потока O_1 и пуансона O_2 в пространстве располагались таким образом, что перемещение последнего сверху вниз приводило к постепенному перекрытию светового потока конической поверхностью А (рис. 2, б).

Квантовые генераторы 1 и 2 в этой схеме были расположены так, что момент начала перекрытия конической поверхностью А цилиндрического светового потока, направленного в фотодиод 4, совпадал с моментом выхода кольцевого выступа Б из-под лазерного луча, направленного в фотодиод 5.

Схема с непрерывной регистрацией кинематики пуансона работает следующим образом. При подлете пуансона 6 к заготовке 7 происходит запуск двух лучей осциллографа и регистрация начальной скорости пуансона в результате пересечения кольцевым выступом Б луча, выходящего из квантового генератора 2. После соударения пуансона 6 с заготовкой 7 освещенность фотодиода 4 будет уменьшаться в результате перекрытия светового потока конической поверхностью А пуансона 6. По мере затемнения фотодиода 4 величина напряжения на его выходе изменяется, что вызывает соответствующее отклонение луча на экране осциллографа. Полное перемещение пуансона в процессе деформации позволяет получить осциллограмму $h_n(t)$ «ход луча – время». Типовые осциллограммы, полученные с помощью непрерывной схемы, показаны на рис. 3. При этом верхняя осциллограмма на рис. 3 использовалась для определения скорости v_0 подлета пуансона к заготовке, а нижняя – для анализа кинематики пуансона в процессе деформации.

Для расшифровки нижней осциллограммы «ход луча – время» строилась тарифовочная кривая «путь пуансона – ход луча» (рис. 4).

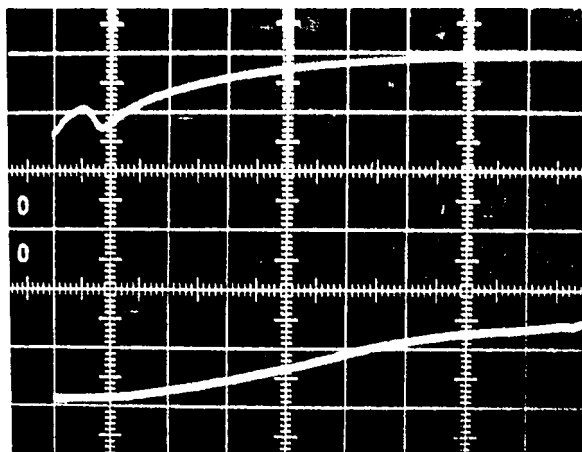


Рис. 3. Типовые осциллограммы кинематики пуансона, полученные при срабатывании непрерывной измерительной схемы; данные для расшифровки: скорость развертки луча $v_p = 100$ мкс/см; $L_6 + L_r = 0,6$ см

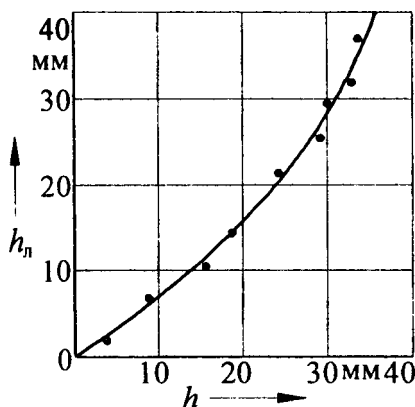


Рис. 4. Тарировочный график $h(h_n)$ «путь пуансона – ход луча» для непрерывной измерительной схемы

Затем путем сопоставления тарировочной кривой «пуансон – ход луча» и осциллограммы «ход луча – время» осуществлялся переход к зависимости $h(t)$ «пуансон – время». После получения зависимости $h(t)$ проводилось ее графическое (в ряде случаев численное) дифференцирование, позволяющее определить скорость и ускорение пуансона в процессе деформации. Величина усилия действующего на пуансон, устанавливалась по известным значениям его массы и ускорения.

В рассмотренных измерительных схемах использовались гелий-неоновые квантовые генераторы ЛГ-56, ЛГ-78 и кремневые фотодиоды ФД-9К с частотной характеристикой, равной 100 кГц. Применение квантовых генераторов позволило облегчить проведение экспериментов за счет расположения указанных приборов на расстоянии 2–3 м от очага деформации. При этом повысилась точность регистрируемых параметров за счет снижения воздействия вибрации и ударных волн на измерительную аппаратуру.

Применение кремневых фотодиодов ФД-9К обеспечивало получение на их выходе сигналов, достигаемых десятков милливольт и не требующих использования усилительной аппаратуры. Указанные сигналы поступали на вход синхронизации и основные входы Y_1 и Y_2 двухлучевого электронного осциллографа С1-18. Этот прибор характеризуется широкой полосой пропускания измеряемых сигналов, равной 1–2 МГц, что позволяет использовать его для исследования импульсных процессов с продолжительностью $(0,5-1) \cdot 10^{-6}$ с. При этом погрешность измерения сигналов по амплитуде и продолжительности согласно паспортным данным прибора С1-18 не превышает 10 %, что является вполне допустимой величиной при регистрации кинематических и силовых параметров в условиях скоростного формоизменения с плакированием торца, реализуемого ударом пуансона по деформируемой заготовке [7].

Выводы

1. Для регистрации кинематических и энергосиловых параметров скоростного выдавливания стержневых изделий с плакированием торца, реализуемого в диапазоне скоростей деформирования

60–130 м/с с длительностью 300–900 мкс, разработаны методики, основанные на использовании лазерных генераторов типа ЛГ-56, ЛГ-78 и кремневых фотодиодов ФД-9К с частотной характеристикой, равной 100 кГц.

2. Для регистрации кинематики пуансона разработаны две измерительные схемы дискретного и непрерывного действия, обеспечивающие измерение начальной и текущей скоростей деформирования при использовании в качестве регистратора осциллографа С1–18 с погрешностью, не превышающей 10 %.

3. Получен тарировочный график $h(h_n)$ «путь пуансона – ход луча», позволяющий по отклонению луча осциллографа определять перемещение пуансона в функции времени $h(t)$ с последующим построением зависимостей $v(t)$ «скорость пуансона – время» и $\omega(t)$ «ускорение пуансона – время» в процессе скоростного выдавливания стержневых изделий с плакированием торца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способ изготовления стержневых деталей (заявка № а20060140 от 19.02.2006 на выдачу патента РБ).
2. Высокоскоростная деформация металлов / В. И. Беляев [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1976. – 224 с.
3. Капранов, В. Н. Исследование процесса высокоскоростного горячего выдавливания полостей кузнечных штампов: автореф. ... дис. канд. техн. наук // В. Н. Капранов. – Омск, 1974. – 19 с.
4. Анципорович, П. П. Пластическое течение металлов и сплавов при холодном высокоскоростном выдавливании: автореф. ... дис. канд. техн. наук // П. П. Анципорович. – Минск, 1970. – 17 с.
5. Исследование кинематических и силовых параметров высокоскоростного прессования / Л. С. Шабеса [и др.] // Металлургия. – Минск: Вышэйш. шк., 1970. – Вып. 5. – С. 77–79.
6. Вагин, В. А. Методы исследования высокоскоростного деформирования металлов / В. А. Вагин, Г. Н. Здор, В. С. Мамутов. – Минск: Наука и техника, 1990. – 207 с.
7. Качанов, И. В. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий / И. В. Качанов; под ред. Л. А. Исаевича. – Мн.: УП «Технопринт», 2002. – 327 с.